

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-223769  
(43)Date of publication of application : 17.08.1999

---

(51)Int.CI. G02B 15/16  
G02B 13/00  
G06F 17/50

---

(21)Application number : 10-039850 (71)Applicant : NIKON CORP  
(22)Date of filing : 06.02.1998 (72)Inventor : SHIBAYAMA ATSUSHI

---

## (54) METHOD FOR DESIGNING ZOOM LENS AND RECORDING MEDIUM FOR RECORDING ZOOM LENS DESIGN PROGRAM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To efficiently operate zoom lens design suited for the execution by a computer under the consideration of manufacture tolerance in addition to optical performance such as various aberration.

**SOLUTION:** This zoom lens system is constituted of plural lens groups, and the interval of each lens group is changed according to zooming or focusing. The values of the plural constituting elements are locally changed so that the zoom lens system expressed by those plural constituting elements can have desire characteristics, and the minimum value of a merit function for evaluating the approach of the value of each constituting element to an optimal constituting element value as the whole lens system is calculated so that the optimal constituting element value can be obtained in this zoom lens designing method. When the sum of tertiary spherical surface aberration coefficients at the edge of the telephoto of the (i)th lens group of the zoom lens system is  $l_i$ , the sum of tertiary comma aberration coefficients at the edge of the telephoto of the (i)th lens group of the zoom lens system is  $l_{ii}$ , first weight value is  $w_1$ , second weight value is  $w_2$ , and arbitrary real numbers are  $k_1$ , and  $k_2$ , the merit function includes  $w_1.(l_i-k_1)^2+w_2.(l_{ii}-k_2)^2$  components.

---

### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-223769

(43)公開日 平成11年(1999)8月17日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 15/16  
13/00  
G 0 6 F 17/50

識別記号

F I  
G 0 2 B 15/16  
13/00  
G 0 6 F 15/60  
6 0 4 A  
6 8 0 A

審査請求 未請求 請求項の数6 FD (全6頁)

(21)出願番号

特願平10-39850

(22)出願日

平成10年(1998)2月6日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 芝山 敦史

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

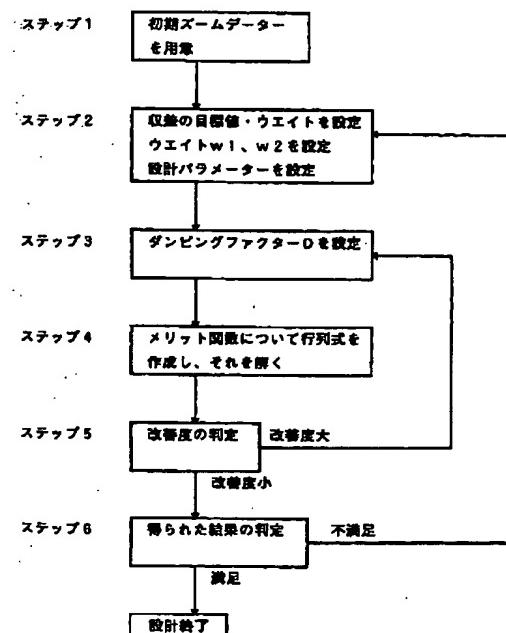
(74)代理人 弁理士 井上 義雄

(54)【発明の名称】 ズームレンズ設計方法及びズームレンズ設計プログラムを記録した記録媒体

(57)【要約】

【課題】 コンピュータで実行するのに適し、諸収差等の光学性能に加えて製造公差をも考慮したズームレンズ設計を効率良く行なうことができるズームレンズ設計方法を提供すること。

【解決手段】 複数のレンズ群から成り、前記各レンズ群の間隔がズーミング又はフォーカシングで変化するズームレンズ系であり、複数の構成要素で表現される前記ズームレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局所的に変更し、前記各構成要素の値が前記ズームレンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求ることで、前記最適な構成要素値を獲得するズームレンズ設計方法において、前記ズームレンズ系の第*i*番目のレンズ群の望遠端における3次の球面収差係数の和を*I i*、前記ズームレンズ系の第*i*番目のレンズ群の望遠端における3次のコマ収差係数の和を*I I i*、第1のウェイト値を*W 1*、第2のウェイト値を*W 2*、任意の実数を*k 1*および*k 2*としたとき、前記メリット関数は、*W 1 · ( | I i | )<sup>k 1</sup> + W 2 · ( | I I i | )<sup>k 2</sup>*の成分を含む。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数のレンズ群から成り、前記各レンズ群の間隔がズーミング又はフォーカシングで変化するズームレンズ系であり、複数の構成要素で表現される前記ズームレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局的に変更し、前記各構成要素の値が前記ズームレンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求めることで、前記最適な構成要素値を獲得するズームレンズ設計方法において、  
前記ズームレンズ系の第 i 番目のレンズ群の望遠端における 3 次の球面収差係数の和を I\_i、  
前記ズームレンズ系の第 i 番目のレンズ群の望遠端における 3 次のコマ収差係数の和を I\_I\_i、  
第 1 のウエイト値を W\_1、  
第 2 のウエイト値を W\_2、  
任意の実数を k\_1 および k\_2 としたとき、前記メリット関数は、

$$W_1 \cdot (|I_i|)^{k_1} + W_2 \cdot (|I_I_i|)^{k_2}$$

の成分を含むことを特徴とするズームレンズ設計方法。

【請求項 2】 前記 k\_1 及び k\_2 は、

$$1 \leq k_1 \leq 3$$

$$1 \leq k_2 \leq 3$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 記載のズームレンズ設計方法。

【請求項 3】 前記 k\_1 及び k\_2 は、

$$k_1 = 2$$

$$k_2 = 2$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のズームレンズ設計方法。

【請求項 4】 複数のレンズ群から成り、前記各レンズ群の間隔がズーミング又はフォーカシングで変化するズームレンズ系であり、複数の構成要素で表現される前記ズームレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局的に変更し、前記各構成要素の値が前記ズームレンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求めることで、前記最適な構成要素値を獲得するズームレンズ設計プログラムを記録した記録媒体において、  
前記ズームレンズ系の第 i 番目のレンズ群の望遠端における 3 次の球面収差係数の和を I\_i、  
前記ズームレンズ系の第 i 番目のレンズ群の望遠端における 3 次のコマ収差係数の和を I\_I\_i、  
第 1 のウエイト値を W\_1、  
第 2 のウエイト値を W\_2、  
任意の実数を k\_1 および k\_2 としたとき、前記メリット関数は、

$$W_1 \cdot (|I_i|)^{k_1} + W_2 \cdot (|I_I_i|)^{k_2}$$

の成分を含むことを特徴とするズームレンズ設計プログラムを記録した記録媒体。

【請求項 5】 前記 k\_1 及び k\_2 は、

$$1 \leq k_1 \leq 3$$

$$1 \leq k_2 \leq 3$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 4 記載のズームレンズ設計プログラムを記録した記録媒体。

【請求項 6】 前記 k\_1 及び k\_2 は、

$$k_1 = 2$$

$$k_2 = 2$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 4 又は 5 記載のズームレンズ設計プログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、コンピューター等の計算処理装置を用いて実行するのに適したズームレンズ設計方法及びズームレンズ設計プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来からコンピュータ等で実行するのに適したレンズ設計方法として、最急降下法 (Steepest Descent Method)、共役勾配法 (Conjugate Gradient Method)、最小自乗法 (Least Squares Method)、減衰最小自乗法 (Damped Least Squares Method、以下「DLS法」という) などが知られている。いずれの方法も、レンズの曲率半径、面間隔、又は屈折率等を変数（設計パラメータ）として目標値（最適値）へ近づけることを行なう。この際、個々の変数がそれぞれの目標値へ系全体として接近しつつあるか否かを 1 つの数値で判定するための単一評価尺度としてメリット関数を用いるのが一般的である。そして、所定のメリット関数が極小値を有する時の各変数（パラメーター）の組み合わせを求めるものである。

【0003】 上述のように、レンズ設計に用いられる変数としては、レンズの曲率半径、面間隔、又は屈折率を用いるのが一般的である。また、メリット関数は、光線収差の目標値からの差、又はレンズ全系での収差係数和の目標値からの差を成分とし、各成分の自乗和を用いるのが一般的である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、コンピュータを用いた従来のレンズ設計方法においては、光線収差などから決定されるメリット関数を極小化することのみを目的にしているため、レンズ等の製造公差を無視した設計となる傾向が強く、コンピュータを利用しても適切な製造公差までを含んだレンズデータを求めるのが困難であった。特に、ズームレンズの場合には、各レンズ群が移動するためのガタ（空間的な余裕）が必要であり、レンズ群毎の偏芯は必ず残存する。しかし、従来のコンピュータを用いたズームレンズの設計において

は、レンズ群相互で諸収差を打ち消し合って、ズームレンズ系全体での収差を小さくするような設計をすることが多い。このため、各レンズ群の偏芯公差が厳しい値になりやすい傾向があった。したがって、従来は、経験を積んだレンズ設計者の有する知識又はノウハウ等に基づいて設計パラメータの数を少数に制限すること、又は手作業による設計（hand method）によってコンピュータで得られた結果に修正を加えること、又は各レンズ群毎に設計すること等を行なう必要があった。したがって、コンピューターの計算速度は向上しているのもかかわらず、製造公差をも含んだ最適なレンズデータを求めるためのレンズ設計には時間と人手がかかり、効率良く設計を行なうことが困難であり問題である。

【0005】本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、コンピュータで実行するのに適し、諸収差等の光学性能に加えて製造公差をも考慮したズームレンズ設計を効率良く行なうことができるズームレンズ設計方法及びズームレンズ設計プログラムを記録した記録媒体を提供することを目的とする。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のズームレンズ設計方法は、複数のレンズ群から成り、各レンズ群の間隔がズーミング又はフォーカシングで変化するズームレンズ系であり、複数の構成要素で表現される前記ズームレンズ系が所望の特性となるように、該複数の構成要素の値を局所的に変更し、前記各構成要素の値が前記ズームレンズ系全体として最適な構成要素値へ接近していることを評価するメリット関数の極小値を求ることで、前記最適な構成要素値を獲得するズームレンズ設計方法において、前記ズームレンズ系の第*i*番目のレンズ群の望遠端における3次の球面収差係数の和を*I<sub>i</sub>*、前記ズームレンズ系の第*i*番目のレンズ群の望遠端における3次のコマ収差係数の和を*I<sub>i</sub><sub>i</sub>*、第1のウェイト値をW1、第2のウェイト値をW2、任意の実数をk<sub>1</sub>およびk<sub>2</sub>としたとき、前記メリット関数は、

$$W1 \cdot (|I_{i}|)^{k_1} + W2 \cdot (|I_{i,i}|)^{k_2}$$

の成分を含むことを特徴とする。

【0007】また、本発明のズームレンズ設計方法では、上記k<sub>1</sub>とk<sub>2</sub>を下記の条件式、

$$1 \leq k_1 \leq 3$$

$$1 \leq k_2 \leq 3$$

の範囲とすることが望ましい。さらに好ましくは、k<sub>1</sub>

= k<sub>2</sub> = 2とすることが望ましい。

【0008】また、本発明は、上記ズームレンズ設計を行なうプログラムを記録した記録媒体であることを特徴とする。

#### 【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について説明する。本発明のズームレンズ設計方法は、従来のメリット関数の極小値を求める方式のレンズ設計方法に組み合わせることが可能であるので、従来のレンズ設計方法の代表的なDSL法に組み合わせる場合を例にして説明する。

【0010】まず、従来のDSL法によるレンズ設計方法について説明する。

【0011】DSL法ではメリット関数φは次式、

$$\phi = \sum_{a=1}^m f_a^2 + \sum_{b=1}^n D(x_b - x_{bo})^2$$

で定義される。

【0012】上記メリット関数の極小値を求めるためには、 $\partial \phi / \partial X_b = 0$  ( $b = 1, 2, \dots, n$ ) を満足する $X_b$ の組を求めればよい。

【0013】ここで、 $f_a$ は光学系の収差に関し、 $f_a = w_a (f_R a - f_I a)$ で定義される。ただし、 $w_a$ は第*a*番目の収差のウェイトであり、 $f_R a$ は第*a*番目の収差値、 $f_I a$ は第*a*番目の収差の目標値である。また各収差値 $f_R a$ は設計パラメーター $X_1, X_2, \dots, X_n$ の関数である。また、 $X_b$ は曲率半径や面間隔、屈折率などの設計パラメータ、 $X_{bo}$ は設計の出発点での設計パラメータ、 $D$ はダンピングファクタをそれぞれ表している。ダンピングファクタ $D$ は、設計パラメータが設計開始の値（初期値）から離れるのを適度に防ぐ働きをする。また、 $m$ は評価をおこなう収差の数、 $n$ は設計に用いるパラメータの数をそれぞれ表している。

【0014】かかるメリット関数φにおいて、設計出発点近傍では各収差値が設計パラメータの線形関数として近似できる。このため、 $\partial \phi / \partial X_b = 0$ の式は、 $X_b$ に対して線形な連立方程式となるので、最小自乗法によって解くことができる。この計算は、コンピューターを用いることで迅速かつ容易に実行できる。

【0015】次に、本発明の実施形態にかかるズームレンズ設計方法について説明する。本実施形態のメリット関数φは次式（1）、

$$\phi = \sum_{a=1}^m f_a^2 + \sum_{b=1}^n D(x_b - x_{bo})^2 + \sum_{i=1}^l \left\{ w1(I_{i,i})^{k_1} + w2(II_{i,i})^{k_2} \right\} \quad (1)$$

で表される。

【0016】ここで、 $I_{i,i}$ はズームレンズ系の第*i*番目のレンズ群の望遠端における三次の球面収差係数の和、すなわち、第*i*番目のレンズ群内の全てのレンズ面の望

遠端における球面収差係数の総和であり、 $II_{i,i}$ はズームレンズ系の第*i*番目のレンズ群の望遠端における三次のコマ収差係数の和、すなわち、第*i*番目のレンズ群内の全てのレンズ面の望遠端におけるコマ収差係数の総和

である。なお、収差係数の計算方法は、松居吉哉著「レンズ設計法」（共立出版、1972年）に詳述されている。 $w_1$  および  $w_2$  は、それぞれ球面収差係数和、コマ収差係数和のウェイトを示している。また、 $I$  はズームレンズを構成するレンズ群の数である。また、 $k_1$  および  $k_2$  は収差係数の幂をあらわす実数を示している。

【0017】本実施形態のズームレンズ設計方法を有効に使用するには、

$$1 \leq k_1 \leq 3$$

$$1 \leq k_2 \leq 3$$

の条件を満足するのが望ましい。 $k_1$ 、 $k_2$  が上記条件を外れると、収差値の最適化と製造公差の最適化を両立させることができ難となり問題である。さらに好ましくは、 $k_1 = k_2 = 2$  とするのが、本発明のレンズ設計方法を最も有効に働かせることができ、さらにコンピューターでの計算を高速にできるので最も望ましい。

【0018】また、ウェイト  $w_1$ 、 $w_2$  を適切に設定すると、(1)式で定義されたメリット関数を用いてレンズ設計を行なうことにより、収差値の最適化に加えて、望遠端において各レンズ群で発生する球面収差係数和、

$$\begin{aligned} \Delta Y(Ec) = & -Ec / 2\alpha' \{ (\Delta E)c + t \tan^2 \omega [3(VE1)c \\ & - (VE2)c] + 2R \tan \omega [3 \cos \phi R (III E)c \\ & + \cos \phi R (PE)c] + R^2 (2 + \cos 2\phi R) \\ & \cdot (2 IIE)c \} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、

$$\begin{aligned} (\Delta E)c &= -2(\alpha'c - \alpha c) \\ (VE1)c &= \{\alpha'c VR - \alpha c(Vc + VR)\} \\ &\quad - \{A\alpha'c III IR - A\alpha c(I II c + I II R)\} \\ (VE2)c &= A\alpha'c PR - A\alpha c(Pc + PR) \\ (III E)c &= \{\alpha'c III IR - \alpha c(I II c + I II R)\} \\ &\quad - \{A\alpha'c III IR - A\alpha c(I II c + I II R)\} \\ (PE)c &= \alpha'c PR - \alpha c(Pc + PR) \\ (II E)c &= \{\alpha'c II IR - \alpha c(I II c + II R)\} \\ &\quad - \{A\alpha'c II IR - A\alpha c(I II c + II R)\} \end{aligned} \quad (3)$$

である。

【0023】ここで、 $E c$  は偏芯レンズ群のシフト換算での偏芯量、 $\omega$  は軸外物点からの主光線が光軸となす角、 $R$  は物体側主平面上での入射瞳半径、 $\phi R$  は物体側主平面上での光線のアジムス角、 $\alpha c$  は物体近軸光線の偏芯レンズ群の物体側における換算傾角、 $\alpha'c$  は物体近軸光線の偏芯レンズ群の像側における換算傾角、 $A\alpha'c$  は物体近軸光線の偏芯レンズ群の像側における換算傾角、 $I_c$ 、 $II_c$ 、 $III_c$ 、 $P_c$ 、 $V_c$  は偏芯レンズ群の3次収差係数和、 $IR$ 、 $IIIR$ 、 $IIIIR$ 、 $PR$ 、 $VR$  は偏芯レンズ群より後方のレンズ群の3次収差係数和である。

【0024】 $(\Delta E)c$ 、 $(VE1)c$ 、 $(VE2)c$ 、 $(III E)c$ 、 $(PE)c$ 、 $(II E)c$  は偏芯レンズ群の偏心収差係数であり、それぞれが偏芯レンズ

コマ収差係数和の絶対値を小さくすることができる。

【0019】次に、望遠端において各レンズ群で発生する球面収差係数和、コマ収差係数和の絶対値を小さくする事と製造公差との関係について説明する。

【0020】レンズ製造の際に、最も性能劣化に影響するのは、一般にレンズ面及びレンズ群の偏芯である。このうち、あるレンズ群内におけるレンズ面の偏芯は、レンズ群の部品公差を厳しく管理し、さらにレンズ群毎に良否をチェックすることで回避することができる。一方、ズームレンズの場合には、各レンズ群の間隔がズーミング又はフォーカシングで可変するために、レンズ群と、その摂動部材との間に多少の空間的な余裕、いわゆるガタが必要である。このためにレンズ群相互の偏芯を回避することは非常に困難である。

【0021】また、あるレンズ群が偏芯したときの収差の変化は偏芯収差係数で次式のように近似的に表現することができる。なお、レンズ系の焦点距離は 1 に規格化してある。

【0022】

【数1】

群の偏心に伴う以下の収差変化、

$(\Delta E)c$	: プリズム効果 (像の横ずれ)
$(VE1)c$ , $(VE2)c$	: 偏心歪曲
$(III E)c$ , $(PE)c$	: 像面の倒れ、軸上非点収差
$(II E)c$	: 偏心コマ収差

を表している。

【0025】このうち、 $(\Delta E)c$  によるプリズム効果および  $(VE1)c$ ,  $(VE2)c$  による偏心歪曲は像の鮮銳度には影響しない。また、 $(III E)c$ ,  $(PE)c$  による像面の倒れ、軸上非点収差の影響は、画角の狭い場合には像の鮮銳度に影響しない。さらに、 $(II E)c$  の偏心コマ収差は、光軸の近傍から、画角の最周辺部までのすべてにわたって、像の鮮銳度に影響する。このため、あらゆる種類の光学系の偏芯収差に対して大きな影響を与えるのは、該偏芯コマ収差係数である

ことがわかる。

【0026】なお、偏芯収差係数およびその導出方法に関する松居吉哉著「偏芯の存在する光学系の3次の収差論」（日本オプトメカトロニクス協会、1990年）に詳述されている。

【0027】偏芯コマ収差係数は、偏芯レンズ群の球面収差係数とコマ収差係数、及び偏芯レンズ群より後方のレンズ群の球面収差係数とコマ収差係数和に関係している。また、(2)式の収差の変化量は焦点距離を1に正規化（ノーマライズ）したときの値であり、焦点距離が長くなるほど実際の収差量は大きくなる。このため、ズームレンズでは、特に望遠端での偏芯収差係数を抑える必要がある。このため、各レンズ群の望遠端における球面収差係数和とコマ収差係数和をそれぞれ小さくすることで、光学系の何れのレンズ群が偏芯した場合でも、偏芯収差の発生を小さく抑えることが可能となり、各レンズ群毎に適切なガタを設けつつ、製造公差を緩和する事、さらにレンズ製造時の歩留まりを向上させる事ができる。

【0028】なお、実際の多くのズームレンズ系にあっては、すべてのレンズ群で球面収差係数とコマ収差係数を零とし、かつズームレンズ系全体での諸収差を補正することは事実上不可能であり、両者は互いにトレードオフの関係にある。このため、(1)式で示したメリット関数におけるウエイトw1、w2を光学系に応じて大きく、又は小さくすることで、ズームレンズ系全体での収差の補正と、製造公差の緩和をバランスよく両立することができる。特に、収差補正のみに着目したメリット関数の設定によって起こりやすい、ズームレンズの製造公差を無視したズームレンズ設計になることを防止できる。

【0029】図1は、本実施形態にかかるズームレンズ設計方法の手順を示すフローチャートである。ステップ

1で初期ズームデータを用意する。ステップ2で、諸収差の目標値・ウエイト、ウエイトw1、w2、及び設計パラメーターを設定する。また、ステップ3でダンピングファクタDを設定する。ここで、通常はダンピングファクタのデフォルト値が設定される。以上のステップでメリット関数が決定されたので、ステップ4においてメリット関数についての行列式すなわち連立方程式を作成し、それを解く。続くステップ5で、メリット関数の値の変化を評価し、改善度を判定する。改善度が所定値以下の場合には、ローカルミニマムに達したと判定しループを抜ける。改善度がある値以上の場合には、ステップ3に戻る。ステップ3においては、前のループにおけるステップ4で作成した行列式から予測される改善度と実際の改善度を比較し、ダンピングファクタDを増減させる。ステップ5でループを脱出した場合には、ステップ6において得られた結果を評価する。結果が満足ならば設計は終了、不満足の場合にはステップ2に戻り、設計条件を変更して設計を続行する。以上のステップのうち、ステップ3からステップ5までがコンピューターでプログラムするのに適している。

#### 【0030】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、コンピューターで実行するのに適し、光学性能に加えてズームレンズの製造公差についても良好な値を得ることができ、かつズームレンズ設計を効率良く行なうことができるズームレンズ設計方法を提供することができる。また、かかる設計効率の良いズームレンズ設計を行なうプログラムを記録した記録媒体を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかるズームレンズ設計方法の手順を示す図である。

【図1】

